

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-128445

(43)Date of publication of application : 22.04.2004

(51)Int.CI. H01L 33/00

(21)Application number : 2003-086107 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD

(22)Date of filing : 26.03.2003 (72)Inventor : TANAKA KENICHIRO  
KUBO MASAO  
MATSUSHIMA CHOMEI  
TERAUCHI RYOICHI

(30)Priority

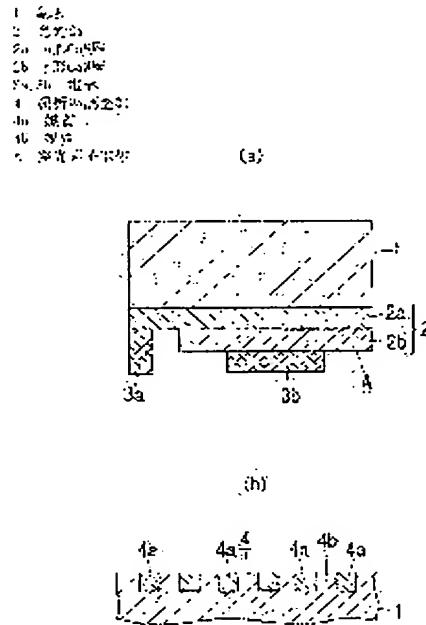
Priority number : 2002220323 Priority date : 29.07.2002 Priority country : JP

## (54) LIGHT EMITTING ELEMENT AND ITS MANUFACTURE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a light emitting element and its manufacturing method by which the light emitted by a light emitting part can be efficiently outputted to the outside.

**SOLUTION:** The light emitting element body A has the light emitting part 2 which is formed of an n-type GaN layer 2a and a p-type GaN layer 2b on one surface of a substrate 1 of sapphire and electrodes 3a and 3b which are respectively formed on the n-type GaN layer 2a and the p-type GaN layer 2b. The light emitting element body A has a refractive index adjusting part 4 which is composed of two types of media 4a and 4b of different refractive index and has a structure in which the refractive index regularly changes in a plane parallel to the light emitting part 2 on the other surface of the substrate 1. The refractive index adjusting part 4 is formed by reforming the other surface of the substrate 1 by radiating a convergent beam of pulse laser of a pulse width (1 ps or less) which does not cause heat damage to the periphery of the part to be irradiated with laser.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.10.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

BEST AVAILABLE COPY

- [Date of final disposal for application]
- [Patent number]
- [Date of registration]
- [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
- [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
- [Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-128445

(P2004-128445A)

(43) 公開日 平成16年4月22日(2004.4.22)

(61) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H01L 33/00F 1  
H01L 33/00

C

テーマコード (参考)  
5FO41

審査請求 未請求 請求項の数 33 ○ L (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2003-86107 (P2003-86107)  
 (22) 出願日 平成15年3月26日 (2003.3.26)  
 (31) 優先権主張番号 特願2002-220323 (P2002-220323)  
 (32) 優先日 平成14年7月29日 (2002.7.29)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000005832  
 松下電工株式会社  
 大阪府門真市大字門真1048番地  
 (74) 代理人 100087767  
 弁理士 西川 恵清  
 (74) 代理人 100085604  
 弁理士 森 厚夫  
 (72) 発明者 田中 健一郎  
 大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内  
 (72) 発明者 久保 雅男  
 大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光素子およびその製造方法

## (57) 【要約】

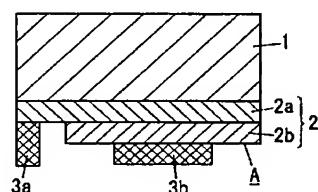
【課題】 発光部にて発光した光を外部に効率よく取り出すことが可能な発光素子およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 発光素子本体Aは、サファイア基板からなる基板1の一表面側にn形GaN層2aとP形GaN層2bからなる発光部2が形成され、n形GaN層2aおよびP形GaN層2bそれぞれに電極3a, 3bが形成されている。発光素子本体Aは基板1の他表面側に、発光部2に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質4a, 4bからなり屈折率を規則的に変化させた構造を有する屈折率調整部4が形成されている。屈折率調整部4は、基板1の上記他表面側に、レーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅(1PS以下のパルス幅)のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を改質加工することを形成している。

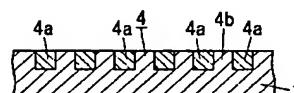
【選択図】 図1

1 基板  
 2 発光部  
 2a n形GaN層  
 2b p形GaN層  
 3a, 3b 電極  
 4 屈折率調整部  
 4a 媒質  
 4b 媒質  
 A 発光素子本体

(a)



(b)



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された発光素子本体を備え、基板の厚み方向から光が取り出される発光素子であって、発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられてなることを特徴とする発光素子。

**【請求項 2】**

前記屈折率調整部は、前記発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が発光部にて発光する光の波長の1/4~4倍程度の値に設定されてなることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

10

**【請求項 3】**

前記屈折率調整部は、前記発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が発光部にて発光する光の波長の1/4~1倍程度の値に設定され、且つ、有効屈折率が前記厚み方向における屈折率調整部の両側の媒質の中間の値であることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

**【請求項 4】**

前記屈折率調整部は、前記発光部の表面側に形成されてなることを特徴とする請求項1ないし請求項3記載の発光素子。

20

**【請求項 5】**

前記屈折率調整部の表面側に前記光に対して透明な材料からなる透明層が形成され、透明層の表面に当該表面を含む界面での前記発光部からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されてなることを特徴とする請求項4記載の発光素子。

**【請求項 6】**

前記屈折率調整部は、前記基板の他表面側に形成されてなることを特徴とする請求項1ないし請求項3記載の発光素子。

30

**【請求項 7】**

前記屈折率調整部は、前記2種類の媒質の一方が前記発光素子本体の構成材料であり他方が前記発光素子本体の構成材料が改質された材料からなることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれかに記載の発光素子。

**【請求項 8】**

前記屈折率調整部は、前記2種類の媒質の一方が前記発光素子本体の構成材料であり他方が前記発光素子本体に形成された凹部内の空気からなることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれかに記載の発光素子。

**【請求項 9】**

前記屈折率調整部は、前記2種類の媒質の一方が前記発光素子本体の構成材料が改質された材料からなり他方が前記発光素子本体に形成された凹部内の空気からなることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれかに記載の発光素子。

40

**【請求項 10】**

前記凹部は前記厚み方向に沿った深さ方向において開口幅が一様であることを特徴とする請求項8または請求項9記載の発光素子。

**【請求項 11】**

前記凹部は前記厚み方向に沿った深さ方向において開口幅が徐々に狭くなっていることを特徴とする請求項8または請求項9記載の発光素子。

**【請求項 12】**

前記基板とは屈折率の異なる多数の微細な柱状領域が前記発光部にて発光した光を前記基板の他表面側へ反射するように前記厚み方向を長手方向として前記光の波長程度の間隔で規則的に配列された反射部を前記基板内に有することを特徴とする請求項1ないし請求項11のいずれかに記載の発光素子。

50

**【請求項 1 3】**

前記発光素子本体の光取り出し面の面積を調整し且つ前記発光部からの光を光取り出し面側へ反射するフォトニック結晶が前記基板内に形成されてなることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 1 1 のいずれかに記載の発光素子。

**【請求項 1 4】**

前記発光部にて発光した光を前記基板側へ反射するように前記光の波長の 1/2 程度の間隔で規則的に配列された反射部を前記発光部内に有することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 1 1 のいずれかに記載の発光素子。

**【請求項 1 5】**

所望の配光が得られるように前記凹部の配列方向における前記凹部それぞれの開口幅が調整されてなることを特徴とする請求項 8 ないし請求項 1 0 のいずれかに記載の発光素子。 10

**【請求項 1 6】**

半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された面発光型の発光素子本体を備えた発光素子であって、発光素子本体の光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられ、基板は、一表面が平面で且つ他表面が発光部の中心から放射された光線束に対して臨界角以下となる複数の平面の集合からなることを特徴とする発光素子。

**【請求項 1 7】**

半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された面発光型の発光素子本体を備えた発光素子であって、発光素子本体の光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられ、基板は、一表面が平面で且つ他表面が球面の一部からなる平凸レンズ状の形状に形成され、発光部の中心と球面の中心とを一致させてなることを特徴とする発光素子。 20

**【請求項 1 8】**

前記屈折率調整部は、前記光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が前記発光部にて発光する光の波長の 1/4 ~ 4 倍程度の値に設定されてなることを特徴とする請求項 1 6 または請求項 1 7 記載の発光素子。 30

**【請求項 1 9】**

前記屈折率調整部は、前記光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が前記発光部にて発光する光の波長の 1/4 ~ 1 倍程度の値に設定され、且つ、有効屈折率が前記光取り出し面に直交する方向における前記屈折率調整部の両側の媒質の中間の値であることを特徴とする請求項 1 6 または請求項 1 7 記載の発光素子。

**【請求項 2 0】**

半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された発光素子本体を備え、基板の厚み方向から光が取り出される発光素子であって、発光部の表面側に前記光に対して透明な材料からなる透明層が形成され、透明層の表面に当該表面を含む界面での前記発光部からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されてなることを特徴とする発光素子。 40

**【請求項 2 1】**

半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された発光素子本体を備え、基板の厚み方向から光が取り出される発光素子であって、基板の他表面側に前記光に対して透明な材料からなる透明層が形成され、透明層の表面に当該表面を含む界面での前記発光部からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されてなることを特徴とする発光素子。

**【請求項 2 2】**

前記透明層の構成材料は、前記発光素子本体との界面近傍における前記発光素子本体の構 50

成材料よりも屈折率が高いことを特徴とする請求項 20 または請求項 21 記載の発光素子

【請求項 23】

前記透明層の構成材料は、前記発光素子本体との界面近傍における前記発光素子本体の構成材料よりも屈折率が低く、前記透明層と前記発光素子本体との界面近傍には、前記発光部に平行な面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質の周期構造を有する屈折率調整部が設けられ、周期構造の周期が発光部にて発光する光の波長程度の値に設定され、且つ、屈折率調整部の有効屈折率が前記厚み方向における屈折率調整部の両側の媒質の中間の値であることを特徴とする請求項 20 または請求項 21 記載の発光素子。

【請求項 24】

請求項 1 ないし請求項 19 のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記屈折率調整部を形成する工程では、前記発光素子本体におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を加工することを特徴とする発光素子の製造方法。

10

【請求項 25】

請求項 1 ないし請求項 19 のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記屈折率調整部を形成する工程では、前記発光素子本体におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを前記発光素子本体における前記屈折率調整部の形成予定領域に複数方向から同時に照射して照射光同士を互いに干渉させて加工することを特徴とする発光素子の製造方法。

20

【請求項 26】

請求項 8 ないし請求項 11 のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記屈折率調整部を形成する工程では、前記発光素子本体におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を改質してから、改質された部分を他の部分に対して選択的にエッチング可能な溶液を用いて改質された部分をエッチングすることを特徴とする発光素子の製造方法。

30

【請求項 27】

請求項 12 記載の発光素子の製造方法であって、前記反射部を形成する工程では、前記基板内にレーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射して前記レーザ照射部分を改質することにより前記各柱状領域を形成することを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項 28】

請求項 13 記載の発光素子の製造方法であって、前記フォトニック結晶を形成する工程では、前記基板内にレーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射して前記レーザ照射部分を改質することを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項 29】

請求項 14 記載の発光素子の製造方法であって、前記反射部を形成する工程では、前記発光部内にレーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射して前記レーザ照射部分を改質することを特徴とする発光素子の製造方法。

40

【請求項 30】

請求項 16 記載の発光素子の製造方法であって、前記基板の前記他表面を構成する複数の平面をレーザ加工により形成することを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項 31】

請求項 20 ないし請求項 28 のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記微細な凹凸を形成する工程では、前記透明層におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を加工することを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項 32】

請求項 20 ないし請求項 28 のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記凹凸を形成する工程では、前記透明層におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパル

50

ス幅のパルスレーザを前記透明層における前記凹凸の形成予定領域に複数方向から同時に照射して照射光同士を互いに干渉させて加工することを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項 3】

請求項 2 1 記載の発光素子の製造方法であって、前記透明層の前記表面ヘレーザを用いた型転写法により前記凹凸を形成することを特徴とする発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、発光素子およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来から、化合物半導体材料からなる発光部を基板の一表面側に形成した発光素子本体を備えた発光素子が提供されており、化合物半導体材料として窒化ガリウム系材料を採用するとともに基板としてサファイア基板を採用した発光素子本体を備えた発光素子が知られていた。しかしながら、このような発光素子では、発光部にて発光した光が発光部、サファイア基板、発光素子本体周囲の空気の屈折率の違いによって界面で反射されてしまうので、発光部にて発光した光を外部に効率良く取り出すことができないという不具合があつた。

【0003】

そこで、光の取り出し効率を向上させるために、図 27 に示すような構成の発光素子本体 A' を備えた発光素子が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。図 27 に示す構成の発光素子本体 A' は、サファイア基板からなる基板 1 の一表面（図 27 における下面）側に n 形 GaN 層 2a と p 形 GaN 層 2b とからなる発光部 2 が形成されており、発光部 2 の表面（図 27 における下面）を非鏡面として発光部 2 の表面での多重反射を抑制することによって外部への光取り出し効率を向上させている。なお、発光部 2 の n 形 GaN 層 2a および p 形 GaN 層 2b それぞれには電極 3a, 3b が形成されている。

【0004】

ところで、上記公報には、発光部 2 の表面を非鏡面とする方法として以下の 2 つの方法が提案されている。まず、第 1 の方法としては、基板 1 であるサファイア基板の上記一表面の面方位を C 軸から 0.2 ~ 1.5° だけずらし、発光部 2 をエピタキシャル成長により形成する方法が提案されている。すなわち、第 1 の方法では、基板 1 として所謂オフ基板を用いることで、エピタキシャル成長により形成する発光部 2 の表面を非鏡面とする方法が提案されている。次に、第 2 の方法としては、エピタキシャル成長により表面が鏡面となるように形成された発光部 2 の表面を、エッティングまたは研磨することで発光部 2 の表面を非鏡面とする方法が提案されている。

【0005】

【特許文献 1】

特開平 6-291868 号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記第 1 の方法により発光部 2 の表面を非鏡面とした発光素子では、発光部 2 の表面の粗面化の度合いが低く、外部へ取り出される光の強度は発光部 2 の表面が鏡面の場合と比べて 10% 程度の向上にとどまってしまい、外部への光取り出し効率の更なる向上が望まれている。

【0007】

一方、上記第 2 の方法により発光部 2 の表面を非鏡面とした発光素子では、発光部 2 の表面近傍に残留応力やクラックなどが発生し、発光素子本体 A' の機械的強度の信頼性が低下してしまうという不具合があつた。また、発光素子本体 A' がチップの状態では上記第 2 の方法を採用することは難しかつた。

【0008】

10

20

30

40

50

本発明は上記事由に鑑みて為されたものであり、その目的は、発光部にて発光した光を外部に効率よく取り出すことが可能な発光素子およびその製造方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

請求項1の発明は、上記目的を達成するために、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された発光素子本体を備え、基板の厚み方向から光が取り出される発光素子であって、発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられてなることを特徴とするものであり、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

10

【0010】

請求項2の発明は、請求項1の発明において、前記屈折率調整部は、前記発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が発光部にて発光する光の波長の1/4~4倍程度の値に設定されているので、光の進行方向における屈折率の変化を小さくすることができ、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

10

【0011】

請求項3の発明は、請求項1の発明において、前記屈折率調整部は、前記発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が発光部にて発光する光の波長の1/4~1倍程度の値に設定され、且つ、有効屈折率が前記厚み方向における屈折率調整部の両側の媒質の中間の値であるので、光の進行方向における屈折率の変化を小さくすることができ、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

20

【0012】

請求項4の発明は、請求項1ないし請求項3の発明において、前記屈折率調整部は、前記発光部の表面側に形成されているので、前記発光部にて発光した光が前記発光部の表面側で全反射されにくくなる。

【0013】

請求項5の発明は、請求項4の発明において、前記屈折率調整部の表面側に前記光に対して透明な材料からなる透明層が形成され、透明層の表面に当該表面を含む界面での前記発光部からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されているので、前記屈折率調整部の表面側での反射を抑制することができ、外部への光取り出し効率がさらに向上できる。

30

【0014】

請求項6の発明は、請求項1ないし請求項3の発明において、前記屈折率調整部は、前記基板の前記他表面側に形成されているので、前記発光部にて発光した光が前記基板の他表面側で全反射されにくくなる。

【0015】

請求項7の発明は、請求項1ないし請求項6の発明において、前記屈折率調整部は、前記2種類の媒質の一方が前記発光素子本体の構成材料であり他方が前記発光素子本体の構成材料が改質された材料からなるので、前記発光素子本体にレーザによる改質加工を施すことで前記屈折率調整部を形成することが可能となる。

40

【0016】

請求項8の発明は、請求項1ないし請求項6の発明において、前記屈折率調整部は、前記2種類の媒質の一方が前記発光素子本体の構成材料であり他方が前記発光素子本体に形成された凹部内の空気からなるので、前記発光素子本体にレーザによる除去加工を施すことで前記屈折率調整部を形成することが可能となる。

【0017】

請求項9の発明は、請求項1ないし請求項6の発明において、前記屈折率調整部は、前記2種類の媒質の一方が前記発光素子本体の構成材料が改質された材料からなり他方が前記

50

発光素子本体に形成された凹部内の空気からなるので、前記発光素子本体にレーザによる改質加工および除去加工を施すことで前記屈折率調整部を形成することが可能となる。

【0018】

請求項10の発明は、請求項8または請求項9の発明において、前記凹部は前記厚み方向に沿った深さ方向において開口幅が一様であるので、前記凹部を容易に加工することができる。

【0019】

請求項11の発明は、請求項8または請求項9の発明において、前記凹部は前記厚み方向に沿った深さ方向において開口幅が徐々に狭くなっているので、前記凹部を容易に加工することができる。

10

【0020】

請求項12の発明は、請求項1ないし請求項11の発明において、前記基板とは屈折率の異なる多数の微細な柱状領域が前記発光部にて発光した光を前記基板の他表面側へ反射するように前記厚み方向を長手方向として前記光の波長程度の間隔で規則的に配列された反射部を前記基板内に有するので、前記発光部にて発光した光を前記基板の他表面側へ反射させることができ、前記基板の側面から光が放射されるのを防止することができるとともに前記基板の他表面側へ効率良く光を導くことができ、前記発光部に平行な面から外部へ効率良く光を取り出すことができる。

【0021】

請求項13の発明は、請求項1ないし請求項11の発明において、前記発光素子本体の光取り出し面の面積を調整し且つ前記発光部からの光を光取り出し面側へ反射するフォトニック結晶が前記基板内に形成されているので、前記基板の側面から光が放射されるのを防止することができるとともに前記基板の光取り出し面側へ効率良く光を導くことができ、前記発光部に平行な面から外部へ効率良く光を取り出すことができる。

20

【0022】

請求項14の発明は、請求項1ないし請求項11の発明において、前記発光部にて発光した光を前記基板側へ反射するように前記光の波長の1/2程度の間隔で規則的に配列された反射部を前記発光部内に有するので、前記発光部にて発光した光を前記基板側へ反射させることができて前記基板の他表面側へ効率良く光を導くことができ、前記発光部に平行な面から外部へ効率良く光を取り出すことができる。

30

【0023】

請求項15の発明は、請求項8ないし請求項10の発明において、所望の配光が得られるように前記凹部の配列方向における前記凹部それぞれの開口幅が調整されているので、外部への光取り出し効率の向上と光の配光制御を実現できる。

【0024】

請求項16の発明は、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された面発光型の発光素子本体を備えた発光素子であって、発光素子本体の光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられ、基板は、一表面が平面で且つ他表面が発光部の中心から放射された光線束に対して臨界角以下となる複数の平面の集合からなることを特徴とするものであり、発光素子本体の光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられていることにより、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上し、しかも、基板の一表面が平面で且つ他表面が発光部の中心から放射された光線束に対して臨界角以下となる複数の平面の集合からなることにより、発光部の中心から放射された光線束が基板の他表面で全反射されるの防止することができ、外部へ効率良く光を取り出すことができる。

40

【0025】

請求項17の発明は、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された面発光型の発光素子本体を備えた発光素子であっ

50

て、発光素子本体の光取出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられ、基板は、一表面が平面で且つ他表面が球面の一部からなる平凸レンズ状の形状に形成され、発光部の中心と球面の中心とを一致させてなることを特徴とするものであり、発光素子本体の光取出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられていることにより、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上し、しかも、基板の形状を一表面が平面で且つ他表面が球面の一部からなる平凸レンズ状に形成して発光部の中心と球面の中心とを一致させてあることにより、発光部の中心から放射された光線束が基板の他表面で全反射されるの防止することができ、外部へ効率良く光を取り出すことができる。  
10

#### 【0026】

請求項18の発明は、請求項16または請求項17の発明において、前記屈折率調整部は、前記光取出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が前記発光部にて発光する光の波長の1/4~4倍程度の値に設定されているので、光の進行方向における屈折率の変化を小さくすることができ、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

#### 【0027】

請求項19の発明は、請求項16または請求項17の発明において、前記屈折率調整部は、前記光取出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が前記発光部にて発光する光の波長の1/4~1倍程度の値に設定され、且つ、有効屈折率が前記光取出し面に直交する方向における前記屈折率調整部の両側の媒質の中間の値であるので、光の進行方向における屈折率の変化を小さくすることができ、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。  
20

#### 【0028】

請求項20の発明は、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された発光素子本体を備え、基板の厚み方向から光が取り出される発光素子であって、発光部の表面側に前記光に対して透明な材料からなる透明層が形成され、透明層の表面に当該表面を含む界面での前記発光部からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されてなることを特徴とするものであり、発光素子本体を加工することなく発光部の表面側での全反射を抑制することができ、外部への光の取り出し効率を向上できる。  
30

#### 【0029】

請求項21の発明は、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された発光素子本体を備え、基板の厚み方向から光が取り出される発光素子であって、基板の他表面側に前記光に対して透明な材料からなる透明層が形成され、透明層の表面に当該表面を含む界面での前記発光部からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されてなることを特徴とするものであり、発光素子本体を加工することなく基板の他表面側での全反射を抑制することができ、外部への光の取り出し効率を向上できる。  
40

#### 【0030】

請求項22の発明は、請求項20または請求項21の発明において、前記透明層の構成材料は、前記発光素子本体との界面近傍における前記発光素子本体の構成材料よりも屈折率が高いので、前記発光素子本体と前記透明層との界面での反射を抑制することができ、外部への光の取り出し効率をさらに向上できる。

#### 【0031】

請求項23の発明は、請求項20または請求項21の発明において、前記透明層の構成材料は、前記発光素子本体との界面近傍における前記発光素子本体の構成材料よりも屈折率

が低く、前記透明層と前記発光素子本体との界面近傍には、前記発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質の周期構造を有する屈折率調整部が設けられ、周期構造の周期が発光部にて発光する光の波長程度の値に設定され、且つ、屈折率調整部の有効屈折率が前記厚み方向における屈折率調整部の両側の媒質の中間の値であるので、前記透明層と前記発光素子本体との界面での反射を抑制することができ、外部への光の取り出し効率をさらに向上できる。

【0032】

請求項24の発明は、請求項1ないし請求項19のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記屈折率調整部を形成する工程では、前記発光素子本体におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を加工することを特徴とし、前記屈折率調整部を非接触で組成の変化なしに形成することができ、しかも、前記屈折率調整部の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができ、前記屈折率調整部の形成に伴う機械的強度の低下を防止できるから、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができる。

10

【0033】

請求項25の発明は、請求項1ないし請求項19のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記屈折率調整部を形成する工程では、前記発光素子本体におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを前記発光素子本体における前記屈折率調整部の形成予定領域に複数方向から同時に照射して照射光同士を互いに干渉させて加工することを特徴とし、前記屈折率調整部を非接触で組成の変化なしに形成することができ、しかも、前記屈折率調整部の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができ、前記屈折率調整部の形成に伴う機械的強度の低下を防止できるから、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができる。また、前記屈折率調整部を一括して形成することができる可能であり、請求項24の発明に比べて生産性を向上させることができる。

20

【0034】

請求項26の発明は、請求項8ないし請求項11のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記屈折率調整部を形成する工程では、前記発光素子本体におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を改質してから、改質された部分を他の部分に対して選択的にエッチング可能な溶液を用いて改質された部分をエッチングすることを特徴とし、前記屈折率調整部の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができ、前記屈折率調整部の形成に伴う機械的強度の低下を防止できるから、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができる。

30

【0035】

請求項27の発明は、請求項12記載の発光素子の製造方法であって、前記反射部を形成する工程では、前記基板内にレーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射して前記レーザ照射部分を改質することにより前記各柱状領域を形成することを特徴とし、前記基板内に非接触で前記反射部を容易に形成することができ、しかも、前記反射部の形成に伴って熱損傷が生じるのを防止することができる。

40

【0036】

請求項28の発明は、請求項13記載の発光素子の製造方法であって、前記フォトニック結晶を形成する工程では、前記基板内にレーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射して前記レーザ照射部分を改質することを特徴とし、前記基板内に非接触で前記フォトニック結晶を容易に形成することができ、しかも、前記フォトニック結晶の形成に伴って熱損傷が生じるのを防止することができる。

【0037】

請求項29の発明は、請求項14記載の発光素子の製造方法であって、前記反射部を形成する工程では、前記発光部内にレーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を生じないパルス幅

50

のパルスレーザを集光照射して前記レーザ照射部分を改質することを特徴とし、前記発光部内に非接触で前記反射部を容易に形成することができます、しかも、前記反射部の形成に伴って熱損傷が生じるのを防止することができます。

【0038】

請求項30の発明は、請求項16記載の発光素子の製造方法であって、前記基板の前記他表面を構成する複数の平面をレーザ加工により形成することを特徴とし、前記基板の前記一表面側に前記発光部を形成した後で、前記基板の前記他表面を構成する複数の平面を非接触で形成することができ、当該複数の平面の形成に伴う機械的強度の低下を防止できるから、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができます。

10

【0039】

請求項31の発明は、請求項20ないし請求項23のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記微細な凹凸を形成する工程では、前記透明層におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を加工することを特徴とし、前記微細な凹凸を非接触で形成することができ、しかも、前記微細な凹凸の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができ、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができます。

【0040】

請求項32の発明は、請求項20ないし請求項23のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記凹凸を形成する工程では、前記透明層におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを前記透明層における前記凹凸の形成予定領域に複数方向から同時に照射して照射光同士を互いに干渉させて加工することを特徴とし、前記微細な凹凸を非接触で形成することができ、しかも、前記微細な凹凸の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができ、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができます。また、前記微細な凹凸を一括して形成することが可能であり、請求項31の発明に比べて生産性を向上させることができます。

20

【0041】

請求項33の発明は、請求項21記載の発光素子の製造方法であって、前記透明層の前記表面へレーザを用いた型転写法により前記凹凸を形成することを特徴とし、前記凹凸の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができ、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができます。

30

【0042】

【発明の実施の形態】

(実施形態1)

本実施形態の発光素子は、図1(a)に示す構成の発光素子本体Aを備えている。発光素子本体Aは、サファイア基板( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板)からなる基板1の一表面(図1(a)における下面)側にn形GaN層2aとP形GaN層2bとからなる発光部2が形成され、n形GaN層2aおよびP形GaN層2bそれぞれに電極3a, 3bが形成されている。ここに、基板1の上記一表面はC面であり、発光部2は、基板1の上記一表面側にエピタキシャル成長された上記n形GaN層2aと上記P形GaN層2bとで構成されているが、発光部2の構造は特に限定するものではなく、例えば、周知のシングルヘテロ構造やダブルヘテロ構造などの構造を採用してもよい。

40

【0043】

なお、発光部2の材料についてもGaNに特に限定するものではなく、GaN以外の半導体材料を採用してもよいことは勿論である。また、基板1の材料についてもAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に限定するものではなく、例えば、GaN、GaAs、GaP、SiCなどを採用してもよい。ここに、基板1の屈折率は、サファイア基板を採用した場合には1.768、GaN基板を採用した場合には2.00、GaAs基板を採用した場合には3.8~3.8、G

50

$\alpha$  P 基板を採用した場合には 3.31、SiC 基板を採用した場合には 3.1~4.1 となる。いずれにしても、発光部 2 および基板 1 の屈折率は光が取り出される側の媒質である空気の屈折率よりも大きな値となっている。

【0044】

本実施形態では、発光素子本体 A に用いている基板 1 が発光部 2 にて発光する光に対して透明なので、発光部 2 にて発光した光は P 形 GaN 層 2b および基板 1 を通して外部へ取り出すことができる。すなわち、本実施形態の発光素子では、発光部 2 にて発光した光を基板 1 の厚み方向（図 1 (a) における上方方向）の両側から外部へ取り出すことができる。なお、本実施形態では、P 形 GaN 層 2b の表面および基板 1 の他表面（図 1 (a) における上面）が光取出し面を構成している。

10

【0045】

ところで、発光素子本体 A は、基板 1 の他表面（図 1 (a) における上面）側に図 1 (b) および図 2 に示すように、発光部 2 に平行な面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質 4a、4b からなり屈折率を規則的に変化させた構造を有する屈折率調整部 4 が形成されている。ここにおいて、屈折率調整部 4 は、発光部 2 に平行な面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質 4a、4b の周期構造を有している。なお、媒質 4a は円柱状の形状であって、発光部 2 に平行な面内で 2 次元周期構造を有するように規則的に配列されている。すなわち、媒質 4a は、図 2 における上下方向および左右方向それぞれに周期性を有している。

【0046】

また、屈折率調整部 4 は、基板 1 の上記他表面側にパルスレーザを集光照射して基板 1 の一部を改質加工することにより媒質 4a が形成されたり、発光素子本体 A の厚み寸法内に設けられている。屈折率調整部 4 を形成する工程では、サファイア基板からなる基板 1 におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を組成変化なしに改質加工している。ここに、パルス幅が 1 PS 以下のパルスレーザを採用すれば、レーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を防止できる。したがって、屈折率調整部 4 は 2 種類の媒質 4a、4b のうちの一方の媒質 4b が基板 1 の構成材料（つまり、発光素子本体 A の構成材料）であり他方の媒質 4a が基板 1 の構成材料が改質された材料となっている。

20

【0047】

屈折率調整部 4 の具体的なプロセス条件としては、レーザ光の波長が 800 nm、パルス幅が 150 fs のパルスレーザ（所謂フェムト秒レーザ）を用い、1 パルス当たりの加工エネルギーを 1 μJ 程度以下（加工エネルギーを 1 μJ / Pulse 程度以下）とすることにより、サファイア基板からなる基板 1 の上記他表面側において平面視形状が円形で直径が略 100 nm の領域に媒質 4a を形成することができる。なお、パルス幅が 1 PS 以下と非常に短い場合には、レーザ照射部分周辺への熱影響を抑制した加工が可能であり、しかも、光の回折限界以下のサイズで加工することも可能である。さらに説明すれば、通常、レーザにより除去加工を行う場合、レーザ照射部分周囲に熱が伝播するには 10 ms オーダの時間が必要なものに対して、本実施形態では、1 PS 以下でレーザの照射が終了するので、レーザ照射部分の周辺に熱が伝播する以前に加工が終了することとなり、結果的にレーザ照射部分の周辺への熱損傷の発生を防止することができる。ただし、パルスレーザを用いた場合にレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅はパルスレーザが照射される対象の材料により異なることは勿論である。

30

【0048】

しかして、本実施形態では、基板 1 におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを基板 1 の上記他表面側へ集光照射してレーザ照射部分を改質（改質加工）することで屈折率調整部 4 を形成しているので、屈折率調整部 4 の形成に伴ってレーザ照射部分の周辺へ熱損傷が生じたり機械的な損傷が生じたりすることなく、屈折率調整部 4 を形成したことによる発光素子本体 A の機械的強度の低下を防止でき、信頼性を高めることができる。

40

【0049】

50

また、レーザは非接触で被処理物（ここでは、基板1）を加工することが可能であり、しかも微細なビーム径に集光することも可能なので、発光素子本体Aに非接触で屈折率調整部4を形成することができ、発光素子本体Aを図示しない実装基板などに実装した後でも屈折率調整部4を形成することが可能となる。

【0050】

上述のようにして製造した発光素子本体Aを備えた発光素子では、屈折率調整部4を設けたことにより、発光素子本体A内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

【0051】

なお、本実施形態では、上述の媒質4aの平面形状が円形状となっているが、図8に示すような矩形状の平面形状としてもよいし、図4に示すような直線状の平面形状としてもよい。ここに、媒質4aの平面形状を図8に示すような矩形状の形状とすることは、レーザのビームプロファイルを矩形状とすることで容易に実現でき、媒質4aの平面形状を図4に示すような直線状の形状とすることは、レーザのビームプロファイルを矩形状とし、基板1における集光点の位置を走査することにより容易に実現できる。

【0052】

（実施形態2）

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態1と略同じであって、図5(a)に示す構成の発光素子本体Aを備えており、図5(b)に示すように基板1の他表面（図5(a)における上面）側に形成した屈折率調整部4の構造が相違する。なお、実施形態1と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

【0053】

実施形態1における屈折率調整部4は2種類の媒質4a、4bのうちの一方の媒質4bが基板1の構成材料（つまり、発光素子本体Aの構成材料）であり他方の媒質4aが基板1の構成材料が改質された材料となっているが、本実施形態における屈折率調整部4は2種類の媒質4a、4bのうちの一方の媒質4bが基板1の構成材料であり他方の媒質4aが基板1の上記他表面側に周期的に形成された凹部1a内の空気となっている点が相違する。なお、凹部1aの形成領域は実施形態1における媒質4aの形成領域と同じである。

【0054】

ところで、屈折率調整部4は、基板1の上記他表面側にパルスレーザを集光照射して基板1の一部を除去加工することにより形成されており、発光素子本体Aの厚み寸法内に設けられている。屈折率調整部4を形成する工程では、サファイア基板からなる基板1におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を除去加工している。ここに、実施形態1と同様に、1PS以下のパルス幅のパルスレーザを採用すれば、レーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を防止できる。また、パルス幅が1PS以下のパルスレーザを採用することで、多光子吸収が生じて処理対象物が局所的に加熱され処理対象物の加工が可能となり、1光子のエネルギーでは除去することができ困難な物質でも、多光子吸収により除去することができます。また、レーザビームを集光した場合、レーザの波長以下のビーム径に集光することは困難であり、一般的にはレーザの波長以下のサイズの加工はできないが、多光子吸収を利用することによりビームの集光径以下の加工が可能となる。つまり、多光子吸収による加工 値以上のビームサイズの部分のみ加工することが可能である。

【0055】

例えば、上述のパルスレーザとしてレーザ光の波長が800nm、パルス幅が150fsのTi:サファイアレーザを用いた場合、1パルス当たりの加工エネルギーを1μJ程度（加工エネルギーを1μJ/Pulse程度）とし、1パルス加工で、サファイア基板からなる基板1の上記他表面側において平面視形状が円形で直径が約100nmの領域に凹部1aを形成することができる（穴加工を行なうことができる）。また、紫外レーザであるエキシマレーザを用いれば、Ti:サファイアレーザに比べて波長が短いので、光子エネルギーが高く、かつ、レーザ光のビーム径よりも小径に集光することが可能となり、より微細な

10

20

30

40

50

加工が可能となる。

【0056】

ところで、凹部1 $\alpha$ は基板1の厚み方向に沿った深さ方向において開口幅が一様であり、上述の除去加工によって加工可能な凹部1 $\alpha$ のアスペクト比は10程度なので、凹部1 $\alpha$ の深さ寸法は、凹部1 $\alpha$ の深さ寸法と凹部1 $\alpha$ の開口幅（開口寸法）との比からなるアスペクト比が1～10程度となるように設定すればよい。例えば、凹部1 $\alpha$ の開口幅を0.05～2.0 $\mu\text{m}$ の範囲で設定する場合には、凹部1 $\alpha$ の深さ寸法は0.05 $\mu\text{m}$ ～20 $\mu\text{m}$ の範囲で設定すればよい。

【0057】

しかし、本実施形態では、基板1におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を除去加工することで屈折率調整部4を形成しているので、屈折率調整部4の形成に伴ってレーザ照射部分の周辺へ熱損傷が生じたり機械的な損傷が生じたりすることなく、発光素子本体Aの信頼性を高めることができる。

10

【0058】

また、本実施形態の発光素子においても、実施形態1と同様、屈折率調整部4を設けたことにより、発光素子本体A内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

【0059】

（実施形態3）

20

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態2と略同じであって、図6(a)に示す構成の発光素子本体Aを備えており、図6(b)および図6(c)に示すように、屈折率調整部4の構造が相違する。本実施形態における屈折率調整部4は、凹部1 $\alpha$ が縦状に形成された1次元周期構造となっている点が相違する。すなわち、図6(c)における上下方向に走る凹部1 $\alpha$ が図6(c)における左右方向に周期的に配列されている点が相違する。なお、実施形態2と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

【0060】

ところで、本実施形態の発光素子を製造する場合、屈折率調整部4を形成する工程において、発光素子本体Aにおけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを用いる点は実施形態2と同じであるが、実施形態2では発光素子本体Aの基板1へパルスレーザを集光照射する過程を凹部1 $\alpha$ 毎に繰り返す必要があるのに対して、本実施形態では、ビームスプリッタ（図示せず）や多穴マスクなどを用いて図7に示すように2分岐されたレーザビーム9.9をそれぞれレンズ10.10を介して発光素子本体Aにおける屈折率調整部4の形成予定領域に2つの方向から同時に照射して照射光同士を互いに干渉させて全ての凹部1 $\alpha$ を1度に加工している点が相違する。ここに、2分岐されたレーザビーム9.9のビームサイズは発光素子本体Aの処理対象面のサイズと同等にしてある。また、発光素子本体Aの被処理面における加工エネルギー密度は、2つのレーザビーム9.9の合計の加工エネルギー密度で100MJ/m<sup>2</sup>程度以下となるように設定している。

30

【0061】

しかし、本実施形態の発光素子では、実施形態2と同様、屈折率調整部4を設けたことにより、発光素子本体A内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

40

【0062】

また、本実施形態の発光素子の製造方法では、レーザビームを走査したり発光素子本体Aを移動せたりすることなくレーザによる面加工を行うことができ、屈折率調整部4の形成工程のスループットが高くなって、生産性を向上させることができとなる。

【0063】

なお、屈折率調整部4を形成する方法は、上述のように照射光同士を互いに干渉させて加工する方法に限らず、例えば、位相シフトマスクを利用した結像加工を採用してもよい。

50

位相シフトマスクを利用すれば、隣り合った開口部を透過したレーザ光の位相が180°ずれるので、微細結像時に発生する回折像を隣り合ったレーザ光により打ち消すことができ、その結果、微細な開口幅の凹部を形成することが可能となる。

【0064】

また、本実施形態の製造方法では、発光素子本体Aにおける被処理面に2つの方向からレーザビーム9, 9を照射しているが、被処理面に例えば4つの方向から照射するようすれば屈折率調整部4に格子状の凹部を形成することも可能である。

【0065】

(実施形態4)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態2と略同じであって、図8(a)に示す構成の発光素子本体Aを備えており、図8(b)に示すように屈折率調整部4の構造が相違する。すなわち、本実施形態における屈折率調整部4では、凹部1aの形状が、基板1の厚み方向に沿った深さ方向において開口幅が徐々に狭くなつたV溝状の形状に形成されている。ここに、凹部1aの最大開口幅は実施形態2における凹部1aの開口幅と同じ設定であり、深さ寸法も実施形態2における凹部1aの深さ寸法と同じ設定である。ここに、V溝状の凹部1aは、レーザのビームアロファイルを三角形状の分布あるいはガウス分布とすることで容易に加工することができます。なお、実施形態2と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

【0066】

しかして、本実施形態の発光素子では、実施形態2と同様、屈折率調整部4を設けたことにより、発光素子本体A内の多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

【0067】

ところで、屈折率調整部4の周期構造の周期は発光部2にて発光する光の波長の1/4~1倍程度の値に設定すれば、屈折率調整部4の有効屈折率が基板1の厚み方向における屈折率調整部4の両側の媒質の中間の値となるので、基板1の上記他表面側での全反射が起こりにくくなつて、結果的に、発光素子本体A内の多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。ここに、本実施形態では、基板1の厚み方向において有効屈折率が徐々に変化することになるので、全反射がより一層起こりにくくなり、結果的に外部への光取り出し効率が向上する。

【0068】

例えば発光部2の発光波長を200~500nmとした場合、屈折率調整部4の周期構造の周期は、発光波長の1/4~4倍程度の値に設定することが好ましい。ここに、周期構造の周期を発光波長の4倍の値とした場合には、幾何学的な効果、つまり、基板1の表面の広面積化と散乱による採用により光の取り出し効率が向上するとともに、波動光学的な効果、つまり、回折光を用いることにより全反射角以上の反射される光を取り出すことができ光の取り出し効率が向上する。また、周期構造の周期を発光波長の1/4~1倍の値にした場合には、媒質4bの屈折率(本実施形態では、基板1の屈折率)をn<sub>2</sub>、媒質4aの屈折率をn<sub>1</sub>とし、図8(b)の左右方向における媒質4bの幅をa、媒質4aの幅をb、TE波に対する屈折率調整部4の有効屈折率を<n<sub>E</sub>>とすれば、有効屈折率<n<sub>E</sub>>は下記の式で表すことができる。

【0069】

【数1】

$$\langle n_E \rangle = \sqrt{\frac{a \cdot n_1^2 + b \cdot n_2^2}{a+b}}$$

【0070】

同様に、TM波に対する屈折率調整部4の有効屈折率を<n<sub>M</sub>>とすれば、有効屈折率<

10

20

30

40

50

$n_M$  は下記の式で表すことができる。

【0071】

【数2】

$$\langle n_M \rangle = \sqrt{\frac{a+b}{a/n_1^2 + b/n_2^2}}$$

【0072】

ところで、上述の屈折率調整部4は、基板1の上記他表面側にレーザを集光照射してレーザ照射部分を除去加工することにより凹部1aを形成してあり、媒質4bの屈折率 $n_2$ は基板1であるサファイア基板の屈折率と等しく、媒質4aの屈折率は媒質4bの屈折率 $n_1$ よりも小さな値となっている。

【0073】

したがって、上述の2つの式から分かるように、屈折率調整部4の有効屈折率は基板1の厚み方向における屈折率調整部4の両側の媒質の中間の値となる。ここに、屈折率調整部4の両側の媒質の一方は基板1のサファイアであり、他方は空気である。

【0074】

なお、上述の各実施形態や後述の各実施形態においても、屈折率調整部4の周期構造の周期を発光部2にて発光する光の波長の1/4~4倍程度の値に設定すれば、光の進行方向における屈折率の変化を小さくすることができ、発光素子本体A内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。ここに、屈折率調整部4の周期構造の周期を発光部2にて発光する光の波長の1/4~1倍程度の値に設定すれば、屈折率調整部4の有効屈折率を基板1の厚み方向における屈折率調整部4の両側の媒質の中間の値とすることができる。例えば、実施形態1における屈折率調整部4は、媒質4bがサファイア基板からなる基板1の一部であり、媒質4aが基板1において改質した部分であるが、基板1の厚み方向における屈折率調整部4の両側の媒質は一方がサファイア、他方が空気であり、上記数式は適用できないものの、有効屈折率としてはサファイアの屈折率と空気の屈折率との間の値になる。

【0075】

(実施形態5)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態2と略同じであって、図9(a)に示す構成の発光素子本体Aを備えており、図9(b)に示すように、屈折率調整部4における媒質4bが基板1の一部を改質加工することにより形成されている点が相違する。なお、実施形態2と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

【0076】

本実施形態における屈折率調整部4を形成するには、実施形態2と同様に、例えば波長が800nm、パルス幅が150fsのフェムト秒レーザの加工エネルギーを1μJ/pulse程度としてサファイア基板からなる基板1の他表面(図9(a)における上面)側に集光照射して除去加工を行うことで内径が100nm程度の凹部1aを形成し、その後、上記フェムト秒レーザの加工エネルギーを1μJ/pulse程度以下として媒質4bに対応する部分に集光照射して改質加工を行うことで基板1とは屈折率の異なる媒質4bを形成している。ただし、媒質4bの組成は基板1から変化していない。

【0077】

しかして、本実施形態の発光素子では、実施形態2と同様、屈折率調整部4を設けたことにより、発光素子本体A内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

【0078】

ところで、実施形態2~5では、屈折率調整部4を形成する工程において、基板1の上記

10

20

30

40

50

他表面側にフェムト秒レーザを集光照射して除去加工を行うことで基板1の上記他表面側に凹部1aを形成しているが、発光素子本体Aにおけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを基板1の他表面側に集光照射してレーザ照射部分（上記凹部1aの形成予定領域）を改質してから、改質された部分を他の部分に対して選択的にエッチング可能な溶液を用いて改質された部分をエッチングするようなプロセスを採用してもよく、このようなプロセスを採用した場合にも、屈折率調整部4の形成時に発光素子本体Aに熱損傷が生じるのを防止することができ、屈折率調整部4の形成に伴う機械的強度の低下を防止できるから、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができる。なお、上記改質された部分を他の部分に対して選択的にエッチングする際のエッチング液としては、例えば、5%のフッ酸を用いればよく、凹部1aの深さ寸法を例えば500nmに設定してあって上記エッチング液として5%のフッ酸を用いる場合のエッチング時間は5分程度に設定すればよい。

## 【0079】

## (実施形態6)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態1と略同じであって、図10(a)に示す構成の発光素子本体Aを備えており、発光部2にて発光した光を図10(a)中に矢印で示すように基板1の他表面（図10(a)における上面）側へ反射する反射部20を基板1内に有している点が相違する。ここにおいて、反射部20は、図10(a)、(b)に示すように、基板1とは屈折率の異なる多数の微細な柱状領域21が基板1の厚み方向を長手方向として光の波長程度の間隔（例えば、波長の1/2程度の間隔）で規則的に配列されており、多数の柱状領域21と柱状領域21の周辺部分とで所謂フォトニック結晶を構成している。また、基板1の上記他表面側には実施形態1と同様に屈折率調整部4が形成されている。なお、実施形態1と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

## 【0080】

上述の柱状領域21は、長手方向に直交する断面が円形であって、屈折率調整部4の形成工程と同様、発光素子本体Aにおけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射して改質加工することによって形成することが可能である。つまり、フォトニック結晶からなる反射部20における柱状領域21の屈折率は基板1の屈折率とは異なり、柱状領域21の周辺部分22の屈折率は基板1の屈折率と等しくなっており、しかも、柱状領域21の周辺部分22には熱損傷が発生していない。

## 【0081】

しかして、本実施形態の発光素子では、基板1内に反射部20を設けたことによって、発光部2にて発光した光が基板1の側面（端面）を通して外部へ放射されることによる光損失を低減でき、発光部2にて発光した光がより効率良く屈折率調整部4へ導かれるので、結果的に光の取り出し効率が向上する。

## 【0082】

なお、本実施形態において説明した反射部20を上記各実施形態に設けてもよいことは勿論である。

## 【0083】

## (実施形態7)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態1と略同じであって、図11および図12に示すように、発光素子本体Aの上記他表面側の光取り出し面の面積を調整し且つ発光部2からの光を図11中の矢印で示したように光取り出し面側へ反射するフォトニック結晶30がサファイア基板よりなる基板1内に形成されている点が相違する。

## 【0084】

フォトニック結晶30は、基板1とは屈折率の異なる多数の微細な球状領域31が光の波長程度の間隔（例えば、波長の1/2程度の間隔）で3次元的に配列されて3次元周期構造を有しており、多数の球状領域31と球状領域31の周辺部分32とでフォトニック結晶30を構成している。また、発光素子本体Aは、基板1の上記他表面側においてフォト

ニック結晶30で囲まれた領域に、実施形態1と同様の屈折率調整部4が形成されている。なお、実施形態1と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

【0085】

上述の球状領域31は、屈折率調整部4の形成工程と同様、発光素子本体Aにおけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを各球状領域31の形成予定部分それぞれに集光照射して改質加工することによって形成することが可能である。つまり、フォトニック結晶30における球状領域31の屈折率は基板1の屈折率とは異なり、球状領域31の周辺部分の屈折率は基板1の屈折率と等しくなっており、しかも、球状領域31の周辺部分32には熱損傷が発生していない。

【0086】

しかし、本実施形態の発光素子では、発光部2にて発光した光が基板1の側面（端面）を通して外部へ放射されることによる損失を低減でき、より効率良く屈折率調整部4へ導かれるので、結果的に光の取り出し効率が向上する。

10

【0087】

なお、本実施形態において説明した反射部20を上記各実施形態に設けてもよいことは勿論である。

【0088】

（実施形態8）

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態7と略同じであって、図13に示すように、発光部2にて発光した光を図13中の矢印で示したように光取り出し面側へ反射するフォトニック結晶30が発光部2内に形成されている点が相違する。なお、本実施形態では、フォトニック結晶30が発光部2にて発光した光を基板1の上記他表面側へ反射させる反射部を構成している。

20

【0089】

フォトニック結晶30は、基板1とは屈折率の異なる多数の微細な球状領域31が光の波長程度の間隔（例えば、波長の1/2程度の間隔）で3次元的に配列されて3次元周期構造を有しており、多数の球状領域31と球状領域31の周辺部分32とでフォトニック結晶30を構成している。ここに、上記3次元周期構造における周期数は4周期以上であることが望ましい。なお、実施形態7と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

30

【0090】

上述の球状領域31は、屈折率調整部4の形成工程と同様、発光素子本体Aにおけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを各球状領域31の形成予定部分それぞれに集光照射して改質加工することによって形成することが可能である。つまり、フォトニック結晶30における球状領域31の屈折率はGaNの屈折率とは異なり、球状領域31の周辺部分の屈折率はGaNの屈折率と等しくなっており、しかも、球状領域31の周辺部分32には熱損傷が発生していない。なお、本実施形態のように発光部2の構成材料がGaNである場合、上述のパルスレーザとしてレーザ光の波長が800nm、パルス幅が150fsのTi:サファイアレーザを用いるときには、球状領域31の形成予定領域での加工エネルギー密度（つまり、レーザ光の焦点における加工エネルギー密度）を10~500μJ/mm<sup>2</sup>とすれば、周辺部分32に熱損傷を発生させることなく、球状領域31を形成することができる。

40

【0091】

しかし、本実施形態の発光素子では、発光部2にて発光してP形GaN層2bの表面側へ向かって放射された分を効率良く屈折率調整部4へ導くことができるので、結果的に基板1を通して取り出される光の取り出し効率が向上する。

【0092】

なお、本実施形態において説明した反射部20を上記各実施形態に設けてもよいことは勿論である。

【0093】

50

## (実施形態9)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態2と略同じであって、図14に示すように、所望の配光が得られるように凹部1aの配列方向における各凹部1aそれぞれの開口幅および隣り合う凹部1a間の媒質4bの幅を調整している点が相違する。すなわち、本実施形態の発光素子では、屈折率調整部4が射出する光の配光制御を可能なバイナリ光学素子などの回折光学素子として機能することになる。なお、実施形態1と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

## 【0094】

本実施形態の発光素子では、基板1の上記他表面の中心を通り且つ基板1の厚み方向に沿った直線が光軸Mとなり光軸M上に光の集光点が形成される配光が得られるように、図14(b)の左右方向における各凹部1aそれぞれの幅および各媒質4bそれぞれの幅を調整してある。具体的には、隣り合う凹部1aと媒質4bとを1組として各組の幅(凹部1aの開口幅と媒質4bの幅とを加算した値)を一定とし、光軸Mに近づくほど媒質4bの幅を大きくした構造を、発光部2の発光波長以上の周期で繰り返してある。その結果、屈折率調整部4での回折光を光軸Mに向かわせることができる。

10

## 【0095】

しかして、本実施形態の発光素子では、所望の配光が得られるように屈折率調整部4の凹部1aの配列方向における各凹部1aそれぞれの開口幅および各媒質4bそれぞれの幅が調整されているので、所望の配光を得ることができる。

20

## 【0096】

## (実施形態10)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態4と略同じであって、図15に示すように、屈折率調整部4を発光部2の表面側に形成している点が相違する。すなわち、屈折率調整部4は、発光部2を構成するP形GaN層2bの表面において電極3bが形成されていない領域に形成されている。ここに、屈折率調整部4は、実施形態4と同様のパルスレーザを利用して発光素子本体Aの厚み寸法内に設けられており、2種類の媒質の周期構造の一方の媒質がGaNで他方の媒質が空気となっている。なお、実施形態4と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

## 【0097】

しかして、本実施形態の発光素子においても、実施形態4と同様、屈折率調整部4を設けたことにより、発光素子本体A内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。

30

## 【0098】

## (実施形態11)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態4と略同じであって、図16に示すように、発光部2を構成するP形GaN層2bの表面に形成する電極3bが、P形GaN層2bの表面を略全面にわたって覆うように形成され、発光部2にて発光した光を基板1側へ反射する反射膜に兼用されている点が相違する。なお、実施形態4と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

40

## 【0099】

しかして、本実施形態の発光素子においても、実施形態4と同様、屈折率調整部4を設けたことにより、発光素子本体A内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上する。また、本実施形態の発光素子では、発光素子本体Aの厚み方向において発光部2側から光が放射されるのを防止して放射光の大部分が基板1側から放射されるようになることができる。

## 【0100】

## (実施形態12)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態2と略同じであって、図17に示すように、半導体材料からなる発光部2が発光部2にて発光する光に対して透明な基板1の厚み方向の一表面側に形成された面発光型の発光素子本体Aを備え、発光素子本体Aの光取出し面

50

に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部4が発光素子本体1の厚み寸法内に設けられており、基板1の形状が実施形態1とは相違する。すなわち、本実施形態における基板1は、一表面が平面で且つ他表面が発光部2の中心から放射された光線束に対して臨界角以下となる複数の平面の集合により構成されており、当該他表面の全体に亘って実施形態1と同様の屈折率調整部4が形成されている(つまり、基板1の他表面を構成する複数の平面それぞれに屈折率調整部4が形成されている)。ここに、本実施形態のように基板1の断面形状を台形状に形成する場合には、上記複数の平面のうち上記一表面とのなす角度が90°よりも小さな平面と、上記一表面とのなす角度が90°となる仮想平面とのなす角度θを20~50°の範囲で設定すればよい。

10

## 【0101】

しかし、本実施形態の発光素子では、発光素子本体Aの光取出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部4が発光素子本体Aの厚み寸法内に設けられていることにより、発光素子本体A内の多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上し、しかも、基板1の一表面が平面で且つ他表面が発光部2の中心から放射された光線束に対して臨界角以下となる複数の平面の集合からなることにより、発光部2の中心から放射された光線束が基板1の他表面で全反射されるの防止することができ、外部へ効率良く光を取り出すことができる。

20

## 【0102】

ところで、本実施形態の発光素子における基板1は、矩形板状のサファイア基板に対して図18に示すようにレーザビーム9を複数方向から照射して除去加工を行うことにより上記複数の平面を有する形状に形成されており、上述のパルスレーザとしてレーザ光の波長が800nm、パルス幅が150fsのTi:Sファイアレーザを用いるときには、基板1の形状加工に対する加工エネルギー密度を2J/mm<sup>2</sup>以上とすればよい。また、基板1の上記他表面を構成する複数の平面それぞれに屈折率調整部4を形成する場合には、図19に示すようにレーザビーム9を所望の平面に集光照射して除去加工を行いレーザビーム9を図19中に矢印Bで示すように基板1の他表面に沿って走査すればよい。なお、屈折率調整部4を形成するために基板1の他表面側に実施形態2にて説明した凹部1aを形成する加工を行う際の加工エネルギー密度は、上述のパルスレーザとしてレーザ光の波長が800nm、パルス幅が150fsのTi:Sファイアレーザを用いるときには、例えば2~15J/mm<sup>2</sup>の範囲で設定すればよい。なお、本実施形態では、基板1の他表面側に除去加工を施すことにより凹部1aを形成し凹部1a内の空気を媒質4aとしているが、実施形態1と同様に基板1の一部を改質加工することにより媒質4aを形成するようにしてもよい。

30

## 【0103】

## (実施形態13)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態12と略同じであって、図20に示すように、基板1の形状が相違するだけである。なお、本実施形態における基板1は、一表面が平面で且つ他表面が球面の一部からなる平凸レンズ状の形状に形成され、発光部2の中心と球面の中心とを一致させてある。要するに、本実施形態における基板1は、半球状の形状に形成されている。なお、実施形態12と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

40

## 【0104】

しかし、本実施形態では、基板1の形状を一表面が平面で且つ他表面が球面の一部からなる平凸レンズ状に形成して発光部2の中心と球面の中心とを一致させてあることにより、発光部2の中心から放射された光線束が基板1の他表面で全反射されるの防止することができ、外部へ効率良く光を取り出すことができる。

## 【0105】

ところで、本実施形態の発光素子における基板1は、サファイア基板に対して図21中に矢印Cで示すようにレーザビーム9を走査しながら除去加工を行うことにより半球状の形

50

状に形成されており、上述のパルスレーザとしてレーザ光の波長が 800 nm、パルス幅が 15.0 fs の Ti : サファイアレーザを用いるときには、基板 1 の形状加工に対する加工エネルギー密度を  $2 \text{ J/mm}^2$  以上とすればよい。また、基板 1 の上記他表面に屈折率調整部 4 を形成する場合には、図 22 に示すようにレーザビーム 9 を所望の領域に集光照射して除去加工を行いレーザビーム 9 を図 22 中に矢印 B で示すように基板 1 の他表面に沿って走査すればよい。なお、屈折率調整部 4 を形成するために基板 1 の他表面側に実施形態 2 にて説明した凹部 1a を形成する加工を行う際の加工エネルギー密度は、上述のパルスレーザとしてレーザ光の波長が 800 nm、パルス幅が 15.0 fs の Ti : サファイアレーザを用いるときには、例えば  $2 \sim 15 \text{ J/mm}^2$  の範囲で設定すればよい。なお、本実施形態では、基板 1 の他表面側に除去加工を施すことにより凹部 1a を形成し凹部 1a 内の空気を媒質 4a としているが、実施形態 1 と同様に基板 1 の一部を改質加工することにより媒質 4a を形成するようにしてもよい。

10

## 【0106】

## (実施形態 14)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態 1 と略同じであって、図 28 に示すように、発光部 2 の表面側に発光部 2 からの光に対して透明な材料からなる透明層 5 が形成され、透明層 5 の表面に当該表面を含む界面（透明層 5 表面と空気との界面）での発光部 2 からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されている点に特徴がある。ここに、透明層 5 は、発光部 2 の表面において電極 8b が形成されていない部分の表面に設けである。なお、実施形態 1 と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

20

## 【0107】

ところで、透明層 5 の材料としては屈折率が発光部 2 において接する部分（P 形 GaN 層 2b）の屈折率と同等か或いは小さい材料を採用すればよく、例えば石英ガラスやポリカーボネイトなどを採用すれば、透明層 5 の表面への微細な凹凸の形成が容易になる。ここに、微細な凹凸は実施形態 4 と同様に、パルスレーザを利用して透明層 5 の一部を除去加工することにより形成することができ、レーザ照射部分の周辺へ熱損傷が発生するのを防止することができる。なお、GaN の屈折率は 2.0 程度、石英ガラスの屈折率は 1.46 程度、ポリカーボネイトの屈折率は 1.59 程度である。また、透明層 5 は、発光素子本体 A の実装後に封止する樹脂により形成してもよい。

30

## 【0108】

しかして、本実施形態の発光素子では、発光部 2 の表面側での全反射が起こりにくくなつて、結果的に、発光素子本体 A 内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上するのである。しかも、発光部 2 の表面側からより多くの光を取り出しができ、外部への光取り出し効率をより一層向上させることができる。また、発光素子本体 A を加工することなく外部への光取り出し効率を向上できるという利点がある。

## 【0109】

なお、本実施形態の発光素子において、発光素子本体 A に実施形態 1 と同様の屈折率調整部 4 を設け、屈折率調整部 4 に透明層 5 を積層するようにすれば、外部への光の取り出し効率をさらに向上させることができる。

40

## 【0110】

## (実施形態 15)

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態 1 と略同じであって、図 24 に示すように、サファイア基板からなる基板 1 の他表面（図 24 における上面）側に発光部 2 からの光に対して透明な材料からなる透明層 5 が形成され、透明層 5 の表面に当該表面を含む界面（透明層 5 表面と空気との界面）での発光部 2 からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されている点に特徴がある。なお、実施形態 1 と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

## 【0111】

ところで、透明層 5 の材料としては屈折率が基板 1 の屈折率と同等か或いは小さい材料を採用すればよく、例えば石英ガラスやポリカーボネイトなどを採用すれば、透明層 5 の表

50

面への微細な凹凸の形成が容易になる。ここに、微細な凹凸は実施形態4と同様に、パルスレーザを利用して透明層5の一部を除去加工することにより形成することができ、レーザ照射部分の周辺へ熱損傷が発生するのを防止することができる。なお、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の屈折率は1.768、石英ガラスの屈折率は1.46程度、ポリカーボネイトの屈折率は1.59程度である。また、透明層5は、発光素子本体Aの実装後に封止する樹脂により形成してもよい。

## 【0112】

また、実施形態10と同様に、発光部2を構成するP形GaN層2bの表面に形成する電極3bが、P形GaN層2bの表面を略全面にわたって覆うように形成され、発光部2にて発光した光を基板1側へ反射する反射膜に兼用されている点が相違する。

10

## 【0113】

しかして、本実施形態の発光素子では、発光素子本体A内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上するのである。しかも、発光素子本体Aの厚み方向において発光部2側から光が放射されるのを防止して放射光の大部分が基板1側から放射されるようにすることができる。また、発光素子本体Aを加工することなく外部への光取り出し効率を向上できるという利点がある。

## 【0114】

なお、本実施形態の発光素子において、発光素子本体Aに実施形態1と同様の屈折率調整部4を設け、屈折率調整部4に透明層5を積層するようにすれば、外部への光の取り出し効率をさらに向上させることができる。

20

## 【0115】

ところで、本実施形態では、パルスレーザを透明層5の表面へ照射して除去加工を行うことにより透明層5の表面へ微細な凹凸を形成しているが、透明層5の表面へパルスレーザを照射せずに、レーザを用いた型転写法により透明層5の表面へ凹凸を形成するようにしてもよく、レーザを用いた型転写法により透明層5の表面へ微細な凹凸を形成するプロセスを採用することによっても、上記凹凸の形成時に発光素子本体Aに熱損傷が生じるのを防止することができ、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができる。

## 【0116】

ここに、レーザを用いた型転写法により透明層5の表面へ凹凸を形成する場合には、例えば、図25に示すように、透明層5とは別に透明材料で透明層5との対向面に微細な凹凸を有する型40を形成しておき、透明層5の表面へレーザを照射することで透明層5の表面を加熱してから、型40を押し当てることにより透明層5の表面へ微細な凹凸を転写することができる。また、型40を通して透明層5の表面へレーザを照射して透明層5の表面を加熱する過程と透明層5表面への型40の押し当ての過程とを同時にを行うことも可能であり、これら2つの過程を同時にを行うことにより生産性が向上する。なお、型40の材料としては、透明層5の材料よりも融点および軟化点が高い特性を有する材料を採用すればよく、例えば透明層5の材料として石英ガラスを採用した場合には、例えばサファイアを採用すればよい。また、型転写法において使用するレーザとしては、パルス幅が1PS以下の極短パルスレーザが望ましく、赤外光から紫外光までの波長範囲で型40を透過する波長のものを用いれば、型40を通して透明層5の表面へレーザを照射して透明層5の表面を加熱する過程と透明層5表面への型40の押し当ての過程とを同時にを行うプロセスの採用が可能である。また、型40を透明層5表面へ押し当てる前に透明層5の表面を加熱するプロセスを採用する場合には、レーザの種類は透明層5の表面を加熱できるものであれば特に限定されず、例えば、Ti:サファイアレーザやエキシマフェムト秒レーザなどを用いればよい。一例を挙げれば、透明層5の材料が石英ガラスで、加熱用のレーザとしてTi:サファイアレーザを用いる場合、0.1~0.6J/mm<sup>2</sup>程度のレーザエネルギー密度で透明層5を軟化させることができる。

30

## 【0117】

(実施形態16)

40

50

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態15と略同じであって、実施形態15における透明層5の材料として、発光素子本体Aにおいて透明層5と接する部分の材料よりも屈折率の高い材料を採用する点に特徴がある。実施形態15では透明層5はサファイア基板からなる基板1に接しているので、透明層5の材料としては、例えば、GaN、SiC、GaAs、GaPなどを採用すればよい。ここに、透明層5表面の微細な凹凸は実施形態4と同様に、パルスレーザを利用して透明層5の一部を除去加工することにより形成することができ、レーザ照射部分の周辺へ熱損傷が発生するのを防止することができます。なお、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の屈折率は1.768、GaNの屈折率は2.00、SiCの屈折率は3.1～4.1、GaAsの屈折率は3.8～3.8、GaPの屈折率は3.31である。また、透明層5の表面に当該表面を含む界面（透明層5表面と空気との界面）での発光部2からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されている点は実施形態12と同じである。

#### 【0118】

しかして、本実施形態の発光素子では、発光素子本体Aと透明層5との界面における反射が低減され、発光部2にて発光した光を効率良く透明層5へ導くことができ、外部への光の取り出し効率を向上させることができます。また、発光素子本体Aを加工することなく外部への光取り出し効率を向上できるという利点がある。

#### 【0119】

なお、本実施形態の発光素子において、発光素子本体Aに実施形態1と同様の屈折率調整部4を設け、屈折率調整部4に透明層5を積層するようにすれば、外部への光の取り出し効率をさらに向上させることができます。

#### 【0120】

##### （実施形態17）

本実施形態の発光素子の基本構成は実施形態15と略同じであり、図26に示すように、基板1の厚み方向の両面に屈折率調整部4、4が形成されている点が相違する。ここにおいて、屈折率調整部4、4は上記各実施形態と同様にパルスレーザを用いた加工を行うことで形成することができる。すなわち、基板1と透明層5との界面付近、基板1と発光部2との界面付近それぞれにパルスレーザを集光照射して屈折率調整部4、4を形成することができる。なお、実施形態15と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

#### 【0121】

しかして、本実施形態の発光素子では、基板1と透明層5との界面、基板1と発光部2との界面それぞれの反射を抑制することができ、外部への光の取り出し効率をさらに向上させることができます。

#### 【0122】

ところで、上記各実施形態では屈折率調整部4が屈折率の異なる2種類の媒質からなる周期構造を有しているが、一部周期をずらしたり一部周期性をなくした準周期構造であってもよい。

#### 【0123】

##### 【発明の効果】

請求項1の発明は、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された発光素子本体を備え、基板の厚み方向から光が取り出される発光素子であって、発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられてなるものであり、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上するという効果がある。

#### 【0124】

請求項2の発明は、請求項1の発明において、前記屈折率調整部は、前記発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が発光部にて発光する光の波長の1/4～4倍程度の値に設定され

ているので、光の進行方向における屈折率の変化を小さくすることができ、発光素子本体内の多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上するという効果がある。

【0125】

請求項3の発明は、請求項1の発明において、前記屈折率調整部は、前記発光部に平行な面内で屈折率の異なる2種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が発光部にて発光する光の波長の1/4~1倍程度の値に設定され、且つ、有効屈折率が前記厚み方向における屈折率調整部の両側の媒質の中間の値であるので、光の進行方向における屈折率の変化を小さくすることができ、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上するという効果がある。

10

【0126】

請求項4の発明は、請求項1ないし請求項3の発明において、前記屈折率調整部は、前記発光部の表面側に形成されているので、前記発光部にて発光した光が前記発光部の表面側で全反射されにくくなるという効果がある。

【0127】

請求項5の発明は、請求項4の発明において、前記屈折率調整部の表面側に前記光に対して透明な材料からなる透明層が形成され、透明層の表面に当該表面を含む界面での前記発光部からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されているので、前記屈折率調整部の表面側での反射を抑制することができ、外部への光取り出し効率がさらに向上できるという効果がある。

20

【0128】

請求項6の発明は、請求項1ないし請求項3の発明において、前記屈折率調整部は、前記基板の前記他表面側に形成されているので、前記発光部にて発光した光が前記基板の他表面側で全反射されにくくなるという効果がある。

【0129】

請求項7の発明は、請求項1ないし請求項6の発明において、前記屈折率調整部は、前記2種類の媒質の一方が前記発光素子本体の構成材料であり他方が前記発光素子本体の構成材料が改質された材料からなるので、前記発光素子本体にレーザによる改質加工を施すことで前記屈折率調整部を形成することができるという効果がある。

30

【0130】

請求項8の発明は、請求項1ないし請求項6の発明において、前記屈折率調整部は、前記2種類の媒質の一方が前記発光素子本体の構成材料であり他方が前記発光素子本体に形成された凹部内の空気からなるので、前記発光素子本体にレーザによる除去加工を施すことで前記屈折率調整部を形成することができるという効果がある。

【0131】

請求項9の発明は、請求項1ないし請求項6の発明において、前記屈折率調整部は、前記2種類の媒質の一方が前記発光素子本体の構成材料が改質された材料からなり他方が前記発光素子本体に形成された凹部内の空気からなるので、前記発光素子本体にレーザによる改質加工および除去加工を施すことで前記屈折率調整部を形成することができるという効果がある。

40

【0132】

請求項10の発明は、請求項8または請求項9の発明において、前記凹部は前記厚み方向に沿った深さ方向において開口幅が一様であるので、前記凹部を容易に加工することができるという効果がある。

【0133】

請求項11の発明は、請求項8または請求項9の発明において、前記凹部は前記厚み方向に沿った深さ方向において開口幅が徐々に狭くなっているので、前記凹部を容易に加工することができるという効果がある。

【0134】

請求項12の発明は、請求項1ないし請求項11の発明において、前記基板とは屈折率の

50

異なる多数の微細な柱状領域が前記発光部にて発光した光を前記基板の他表面側へ反射するように前記厚み方向を長手方向として前記光の波長程度の間隔で規則的に配列された反射部を前記基板内に有するので、前記発光部にて発光した光を前記基板の他表面側へ反射させることができ、前記基板の側面から光が放射されるのを防止することができるとともに前記基板の他表面側へ効率良く光を導くことができ、前記発光部に平行な面から外部へ効率良く光を取り出すことができるという効果がある。

## 【0135】

請求項13の発明は、請求項1ないし請求項11の発明において、前記発光素子本体の光取り出し面の面積を調整し且つ前記発光部からの光を光取り出し面側へ反射するフォトニック結晶が前記基板内に形成されているので、前記基板の側面から光が放射されるのを防止することができるとともに前記基板の光取り出し面側へ効率良く光を導くことができ、前記発光部に平行な面から外部へ効率良く光を取り出すことができるという効果がある。

10

## 【0136】

請求項14の発明は、請求項1ないし請求項11の発明において、前記発光部にて発光した光を前記基板側へ反射するように前記光の波長の1/2程度の間隔で規則的に配列された反射部を前記発光部内に有するので、前記発光部にて発光した光を前記基板側へ反射させることができて前記基板の他表面側へ効率良く光を導くことができ、前記発光部に平行な面から外部へ効率良く光を取り出すことができるという効果がある。

## 【0137】

請求項15の発明は、請求項8ないし請求項10の発明において、所望の配光が得られるように前記凹部の配列方向における前記凹部それぞれの開口幅が調整されているので、外部への光取り出し効率の向上と光の配光制御とを実現できるという効果がある。

20

## 【0138】

請求項16の発明は、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された面発光型の発光素子本体を備えた発光素子であって、発光素子本体の光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられ、基板は、一表面が平面で且つ他表面が発光部の中心から放射された光線束に対して臨界角以下となる複数の平面の集合からなるものであり、発光素子本体の光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられることにより、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上し、しかも、基板の一表面が平面で且つ他表面が発光部の中心から放射された光線束に対して臨界角以下となる複数の平面の集合からなることにより、発光部の中心から放射された光線束が基板の他表面で全反射されるの防止することができ、外部へ効率良く光を取り出すことができるという効果がある。

30

## 【0139】

請求項17の発明は、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された面発光型の発光素子本体を備えた発光素子であって、発光素子本体の光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられ、基板は、一表面が平面で且つ他表面が球面の一部からなる平凸レンズ状の形状に形成され、発光部の中心と球面の中心とを一致させてなるものであり、発光素子本体の光取り出し面に沿った面内で屈折率の異なる2種類の媒質からなり屈折率を変化させた構造を有する屈折率調整部が発光素子本体の厚み寸法内に設けられることにより、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上し、しかも、基板の形状を一表面が平面で且つ他表面が球面の一部からなる平凸レンズ状に形成して発光部の中心と球面の中心とを一致させてあることにより、発光部の中心から放射された光線束が基板の他表面で全反射されるの防止することができ、外部へ効率良く光を取り出すことができるという効果がある。

40

## 【0140】

50

請求項 18 の発明は、請求項 16 または請求項 17 の発明において、前記屈折率調整部は、前記光取出し面に沿った面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が前記発光部にて発光する光の波長の 1/4 ~ 4 倍程度の値に設定されているので、光の進行方向における屈折率の変化を小さくすることができ、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上するという効果がある。

## 【0141】

請求項 19 の発明は、請求項 16 または請求項 17 の発明において、前記屈折率調整部は、前記光取出し面に沿った面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質の周期構造もしくは準周期構造を有し、周期構造もしくは準周期構造の周期が前記発光部にて発光する光の波長の 1/4 ~ 1 倍程度の値に設定され、且つ、有効屈折率が前記光取出し面に直交する方向における前記屈折率調整部の両側の媒質の中間の値であるので、光の進行方向における屈折率の変化を小さくすることができ、発光素子本体内での多重反射が起こりにくくなり、外部への光取り出し効率が向上するという効果がある。

10

## 【0142】

請求項 20 の発明は、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された発光素子本体を備え、基板の厚み方向から光が取り出される発光素子であって、発光部の表面側に前記光に対して透明な材料からなる透明層が形成され、透明層の表面に当該表面を含む界面での前記発光部からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されてなるものであり、発光素子本体を加工することなく発光部の表面側での全反射を抑制することができ、外部への光の取り出し効率を向上できるという効果がある。

20

## 【0143】

請求項 21 の発明は、半導体材料からなる発光部が発光部にて発光する光に対して透明な基板の厚み方向の一表面側に形成された発光素子本体を備え、基板の厚み方向から光が取り出される発光素子であって、基板の他表面側に前記光に対して透明な材料からなる透明層が形成され、透明層の表面に当該表面を含む界面での前記発光部からの光の全反射の発生を抑制する多数の微細な凹凸が形成されてなるものであり、発光素子本体を加工することなく基板の他表面側での全反射を抑制することができ、外部への光の取り出し効率を向上できるという効果がある。

30

## 【0144】

請求項 22 の発明は、請求項 20 または請求項 21 の発明において、前記透明層の構成材料は、前記発光素子本体との界面近傍における前記発光素子本体の構成材料よりも屈折率が高いので、前記発光素子本体と前記透明層との界面での反射を抑制することができ、外部への光の取り出し効率をさらに向上できるという効果がある。

## 【0145】

請求項 23 の発明は、請求項 20 または請求項 21 の発明において、前記透明層の構成材料は、前記発光素子本体との界面近傍における前記発光素子本体の構成材料よりも屈折率が低く、前記透明層と前記発光素子本体との界面近傍には、前記発光部に平行な面内で屈折率の異なる 2 種類の媒質の周期構造を有する屈折率調整部が設けられ、周期構造の周期が発光部にて発光する光の波長程度の値に設定され、且つ、屈折率調整部の有効屈折率が前記厚み方向における屈折率調整部の両側の媒質の中間の値であるので、前記透明層と前記発光素子本体との界面での反射を抑制することができ、外部への光の取り出し効率をさらに向上できるという効果がある。

40

## 【0146】

請求項 24 の発明は、請求項 1 ないし請求項 19 のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記屈折率調整部を形成する工程では、前記発光素子本体におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を加工するので、前記屈折率調整部を非接触で組成の変化なしに形成することができ、しかも、前記屈折率調整部の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止するこ

50

でき、前記屈折率調整部の形成に伴う機械的強度の低下を防止できるから、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができるという効果がある。

【0147】

請求項25の発明は、請求項1ないし請求項19のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記屈折率調整部を形成する工程では、前記発光素子本体におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを前記発光素子本体における前記屈折率調整部の形成予定領域に複数方向から同時に照射して照射光同士を互いに干渉させて加工するので、前記屈折率調整部を非接触で組成の変化なしに形成することができ、しかも、前記屈折率調整部の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができます、前記屈折率調整部の形成に伴う機械的強度の低下を防止できるから、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができるという効果がある。また、前記屈折率調整部を一括して形成することができる、請求項24の発明に比べて生産性を向上させることができる。

10

【0148】

請求項26の発明は、請求項8ないし請求項11のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記屈折率調整部を形成する工程では、前記発光素子本体におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を改質してから、改質された部分を他の部分に対して選択的にエッチング可能な溶液を用いて改質された部分をエッチングするので、前記屈折率調整部の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができます、前記屈折率調整部の形成に伴う機械的強度の低下を防止できるから、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができるという効果がある。

20

【0149】

請求項27の発明は、請求項12記載の発光素子の製造方法であって、前記反射部を形成する工程では、前記基板内にレーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射して前記レーザ照射部分を改質することにより前記各柱状領域を形成するので、前記基板内に非接触で前記反射部を容易に形成することができます、しかも、前記反射部の形成に伴って熱損傷が生じるのを防止することができます、

30

【0150】

請求項28の発明は、請求項13載の発光素子の製造方法であって、前記フォトニック結晶を形成する工程では、前記基板内にレーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射して前記レーザ照射部分を改質するので、前記基板内に非接触で前記フォトニック結晶を容易に形成することができます、しかも、前記フォトニック結晶の形成に伴って熱損傷が生じるのを防止することができます、

40

【0151】

請求項29の発明は、請求項14記載の発光素子の製造方法であって、前記反射部を形成する工程では、前記発光部内にレーザ照射部分周辺への熱損傷の発生を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射して前記レーザ照射部分を改質するので、前記発光部内に非接触で前記反射部を容易に形成することができます、しかも、前記反射部の形成に伴って熱損傷が生じるのを防止することができます、

【0152】

請求項30の発明は、請求項16記載の発光素子の製造方法であって、前記基板の前記他表面を構成する複数の平面をレーザ加工により形成するので、前記基板の前記一表面側に前記発光部を形成した後で、前記基板の前記他表面を構成する複数の平面を非接触で形成することができます、当該複数の平面の形成に伴う機械的強度の低下を防止できるから、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができます、

【0153】

請求項31の発明は、請求項20ないし請求項28のいずれかに記載の発光素子の製造方

50

法であって、前記微細な凹凸を形成する工程では、前記透明層におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを集光照射してレーザ照射部分を加工するので、前記微細な凹凸を非接触で形成することができ、しかも、前記微細な凹凸の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができ、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができるという効果がある。

【0154】

請求項32の発明は、請求項20ないし請求項23のいずれかに記載の発光素子の製造方法であって、前記凹凸を形成する工程では、前記透明層におけるレーザ照射部分周辺への熱損傷を生じないパルス幅のパルスレーザを前記透明層における前記凹凸の形成予定領域に複数方向から同時に照射して照射光同士を互いに干渉させて加工するので、前記微細な凹凸を非接触で形成することができ、しかも、前記微細な凹凸の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができ、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができるという効果がある。また、前記微細な凹凸を一括して形成することが可能であり、請求項31の発明に比べて生産性を向上させることができる。

【0155】

請求項33の発明は、請求項21記載の発光素子の製造方法であって、前記透明層の前記表面へレーザを用いた型転写法により前記凹凸を形成するので、前記凹凸の形成時に前記発光素子本体に熱損傷が生じるのを防止することができ、信頼性を損なうことなく外部への光の取り出し効率の向上を図った発光素子を提供することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態1を示し、(a)は概略断面図、(b)は(a)の要部拡大図である。

【図2】同上の要部平面図である。

【図3】同上の他の構成例の要部平面図である。

【図4】同上の別の構成例の要部説明図である。

【図5】実施形態2を示し、(a)は概略断面図、(b)は(a)の要部拡大図である。

【図6】実施形態3を示し、(a)は概略断面図、(b)は(a)の要部拡大図、(c)は要部平面図である。

【図7】同上の製造方法の説明図である。

【図8】実施形態4を示し、(a)は概略断面図、(b)は(a)の要部拡大図である。

【図9】実施形態5を示し、(a)は概略断面図、(b)は(a)の要部拡大図である。

【図10】実施形態6を示し、(a)は概略断面図、(b)は概略平面図である。

【図11】実施形態7を示す概略断面図である。

【図12】(a)は図11のC-C'断面図、(b)は図11のD-D'断面図、(c)は図11のE-E'断面図である。

【図13】実施形態8を示す概略断面図である。

【図14】実施形態9を示し、(a)は要部平面図、(b)は要部断面図である。

【図15】実施形態10を示す概略断面図である。

【図16】実施形態11を示す概略断面図である。

【図17】実施形態12を示す概略断面図である。

【図18】同上の製造方法の説明図である。

【図19】同上の製造方法の説明図である。

【図20】実施形態13を示す概略断面図である。

【図21】同上の製造方法の説明図である。

【図22】同上の製造方法の説明図である。

【図23】実施形態14を示す概略断面図である。

【図24】実施形態15を示す概略断面図である。

【図25】同上の製造方法の一例の説明図である。

【図26】実施形態17を示す概略断面図である。

10

20

30

40

50

【図27】従来例を示す概略断面図である。

【符号の説明】

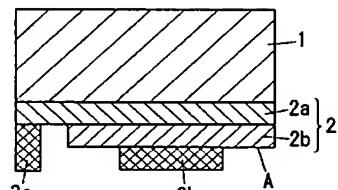
- 1 基板
- 2 発光部
- 2a n形GaN層
- 2b p形GaN層
- 3a, 3b 電極
- 4 屈折率調整部
- 4a 媒質
- 4b 媒質
- A 発光素子本体

10

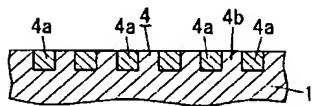
【図1】

- 1 基板
- 2 発光部
- 2a n形GaN層
- 2b p形GaN層
- 3a, 3b 電極
- 4 屈折率調整部
- 4a 媒質
- 4b 媒質
- A 発光素子本体

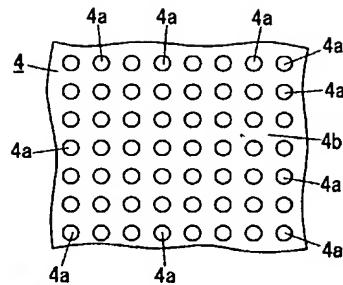
(a)



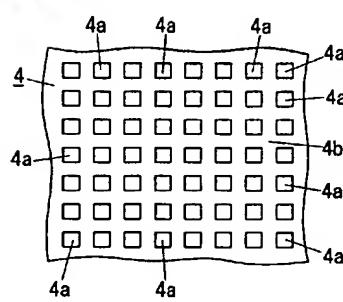
(b)



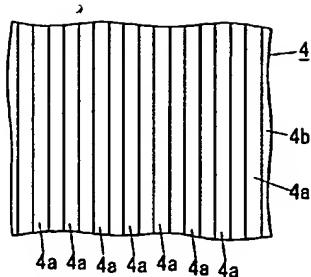
【図2】



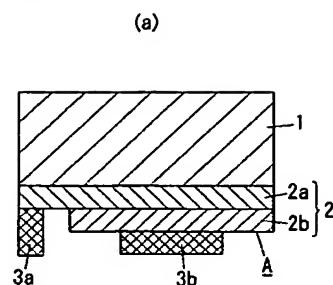
【図3】



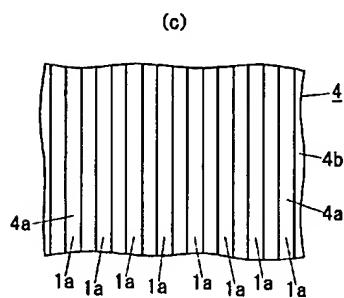
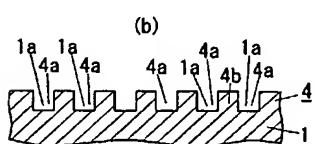
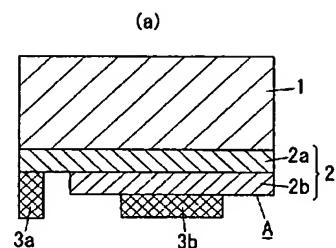
[ 図 4 ]



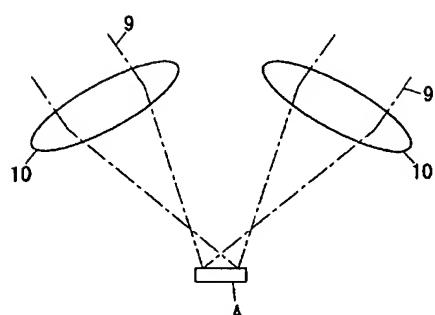
〔 四 5 〕



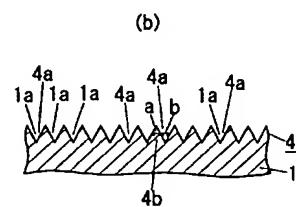
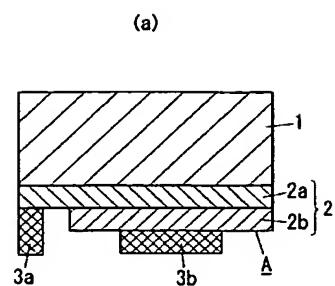
〔 6 〕



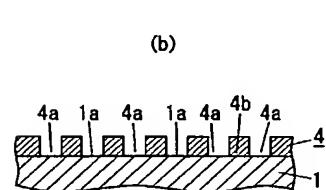
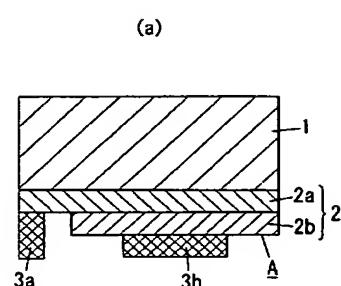
〔四七〕



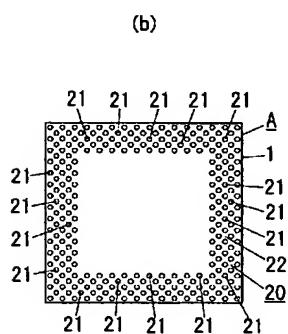
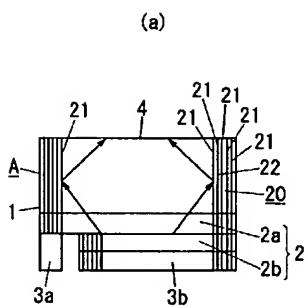
【図 8】



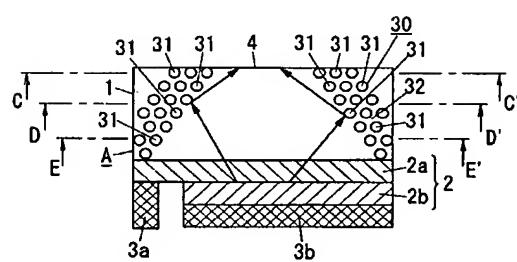
【図 9】



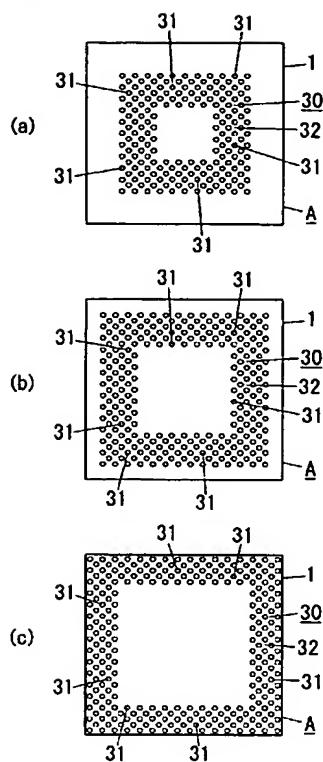
【図 10】



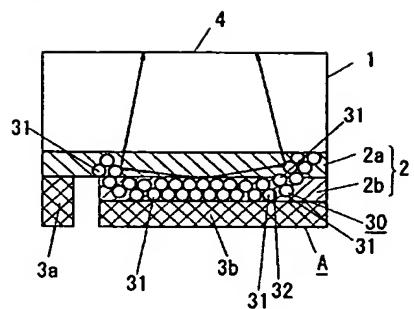
【図 11】



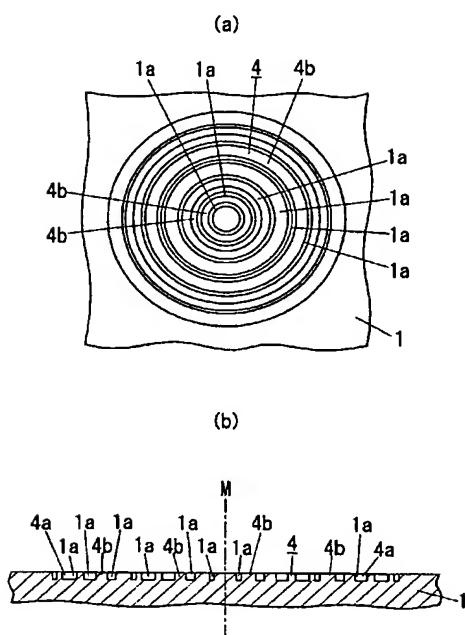
【 1 2 】



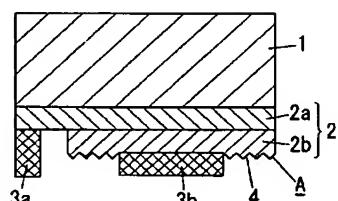
〔四一三〕



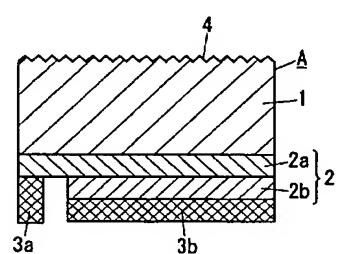
【 14 】



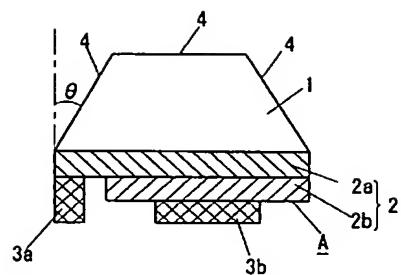
〔 四 15 〕



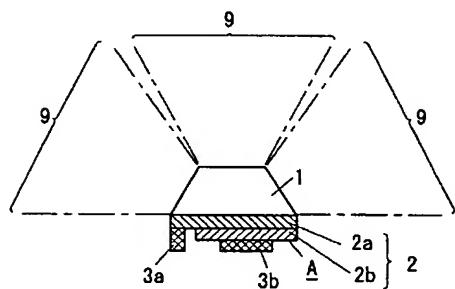
(图 16)



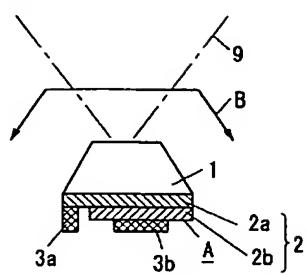
【図 1 7】



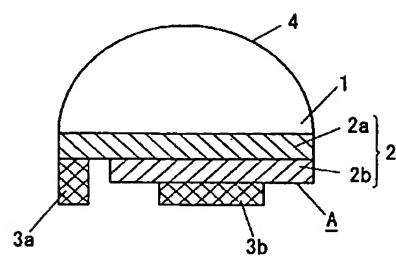
【図 1 8】



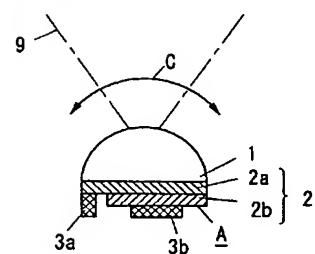
【図 1 9】



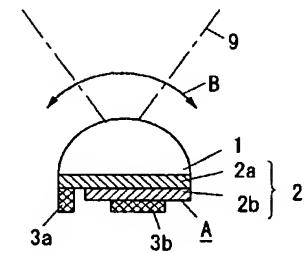
【図 2 0】



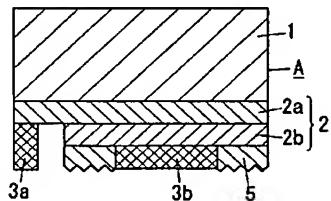
【図 2 1】



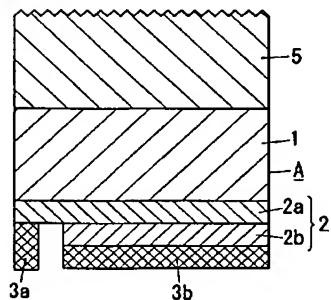
【図 2 2】



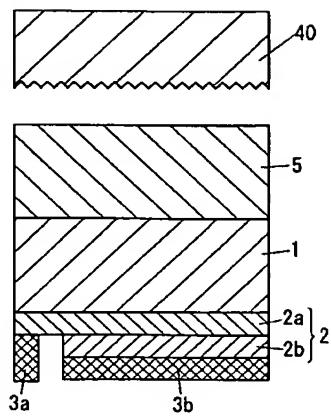
【図 2 3】



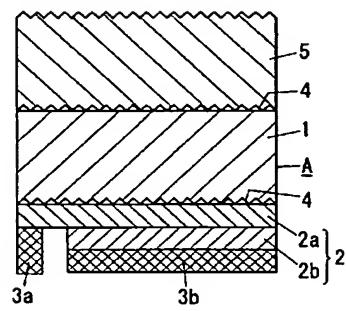
【図 2 4】



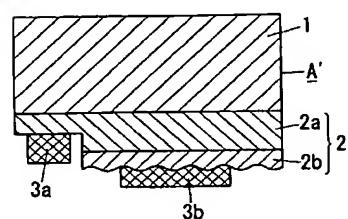
【図 25】



【図 26】



【図 27】



---

フロントページの続き

(72)発明者 松嶋 朝明  
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72)発明者 寺内 亮一  
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA14 AA40 AA43 CA01 CA12 CA13 CA22 CA40 CA62 CA74  
CA75 CA77 CA94 CB14 CB15 CB31 CB32

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT OR DRAWING
- BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- GRAY SCALE DOCUMENTS
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images  
problems checked, please do not report the  
problems to the IFW Image Problem Mailbox**